

Gestion de la qualité et technologies de contrôle

La qualité étant conçue comme l'adaptation correcte du produit, du service ou du système à l'utilisation qui en sera faite au cours de sa vie, nous aborderons ci-après :

- la gestion de la qualité, couvrant l'assurance de la qualité proprement dite et le contrôle de conformité (vérification),
- la fiabilité d'un équipement,
- les technologies de contrôles destructifs et non destructifs

Assurance de qualité et contrôle de conformité

Définitions

L'assurance de qualité, vise à prendre toutes les dispositions pour "construire la qualité", c'est-à-dire prévoir, anticiper les risques et piloter les réalisations.

Le contrôle de conformité consiste à vérifier la conformité des réalisations (depuis les plans et spécifications jusqu'aux pièces et produits) aux exigences énoncées aux divers stades.

L'assurance-qualité

L'assurance de qualité a les 3 responsabilités suivantes :

s'assurer de la qualité des produits et services aux diverses étapes de leur réalisation et de leur mise en exploitation;

conduire la recherche des vraies causes d'anomalies rencontrées aux essais et en exploitation;

connaître les coûts réels de non-qualité, localiser les déficiences et identifier les tendances d'amélioration ou de dégradation dans les secteurs concourant aux réalisations.

Pour assurer ses responsabilités, l'assurance de qualité peut recourir aux outils tels que :

les revues de projet, réunissant tous ceux qui peuvent apporter, de par leur expérience et leur fonction un éclairage utile quant à la validité des conceptions proposées,

la qualification de fournisseurs, de matières, de pièces, d'accessoires ou de services, de façon à s'assurer qu'ils ont les connaissances, et les moyens requis pour assurer une fourniture conforme aux spécifications,

les simulations, c'est-à-dire, des essais partiels ou complets, sur les composants, sous-ensembles ou produits dans les conditions les plus voisines possibles de leur exploitation future,

la formation, beaucoup d'anomalies de qualité résultent de "dysfonctionnements" résultant entre autres, de manques de formation, pertes de savoir-faire, etc.

les études de fiabilité et les outils statistiques.

Le contrôle de conformité

Le contrôle de conformité, pour assurer ses responsabilités recourt aux outils tels que :

les contrôles dimensionnels, avec comparaison de la cote réalisée et des cotes tolérancées reprises aux plans,

les analyses chimiques de matériaux et leur comparaison avec les compositions tolérancées, définies dans les contrats et les normes de matériaux convenues,

les contrôles destructifs et non destructifs.

La fiabilité

Définition

La fiabilité d'un produit est la probabilité de fonctionner pendant une période donnée dans des conditions définies.

Principes

Des modèles mathématiques ont été établis expérimentalement et permettent de prévoir dans une certaine mesure la fiabilité d'un matériel donné. Une prévision de fiabilité repose toujours sur des essais sur composants et sous-ensembles, d'une certaine durée.

La fiabilité d'un équipement est donc conditionnée outre la fiabilité des composants par :

une bonne conception du produit, vérifiée par des essais de qualification en endurance,

un ensemble de contrôles et d'essais en cours de fabrication, pour détecter d'éventuels défauts, avant la mise en service.

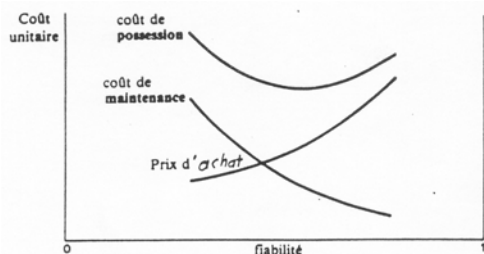
Aspects économiques de la fiabilité

Pour un exploitant, le coût de possession d'un équipement est l'ensemble des dépenses engagées pour :

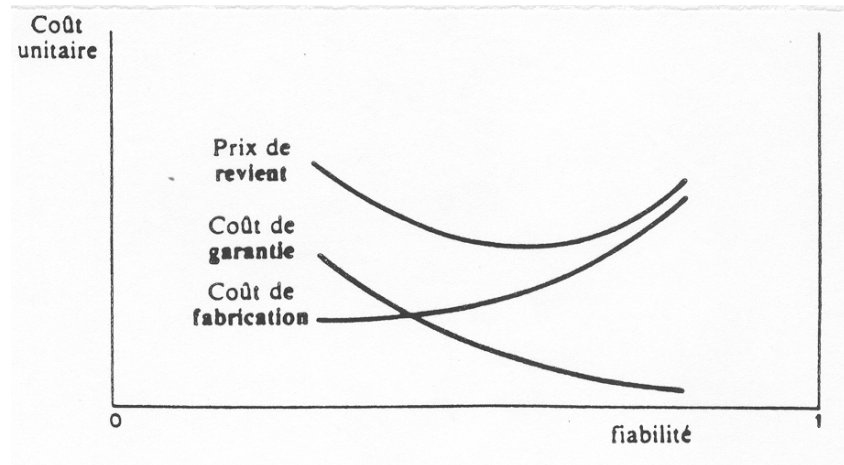
- l'acquérir,
- le faire fonctionner,
- le maintenir en état de marche.

Plus la fiabilité est élevée :

- moins les coûts de maintenance sont élevés,
- plus les prix d'achat tendent à croître.



Coût de possession en fonction de la fiabilité



Prix de revient en fonction de la fiabilité

Pour le constructeur, le prix de revient total varie aussi en fonction de la fiabilité désirée. Plus la fiabilité est élevée :

plus les coûts de réparations sous garanties, les rebuts et les retouches diminuent,

plus les coûts de fabrication tendent à monter (investissements, contrôles, etc)

Maintenabilité et disponibilité

La maintenabilité est la probabilité qu'un appareil soit remis en fonctionnement au bout d'un temps donné, après une défaillance, lorsque les opérations de maintenance ont été menées dans des conditions définies.

La disponibilité est la probabilité qu'un appareil réparable soit en état de fonctionner pendant une certaine proportion du temps total de service. La disponibilité est liée à la :

- fiabilité
- maintenabilité

La maintenabilité dépend :

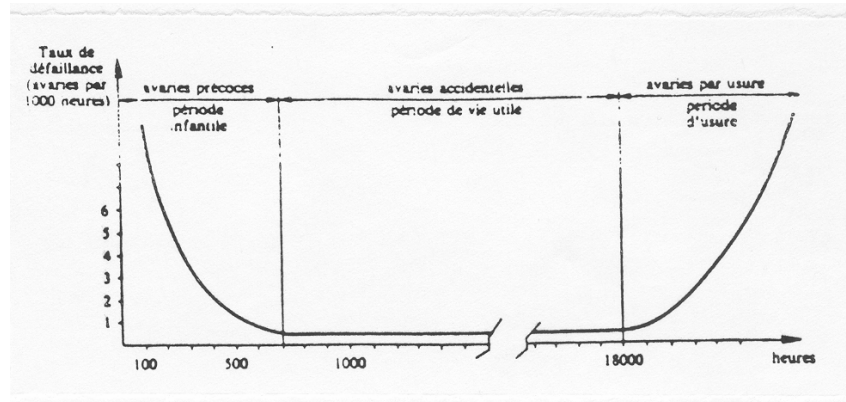
- de la diligence et de l'aptitude du service de maintenance:
 - rapidité et validité du diagnostic,
 - disposition d'équipements de test,
 - disponibilité de pièces de rechange,
 - compétence dans la remise en état de fonctionner du matériel.
- de la conception du matériel, notamment sous l'angle de l'accessibilité et de la facilité de remplacement des constituants.

La fiabilité des composants d'un équipement

La fiabilité d'un équipement (par exemple un équipement électronique) est calculée sur la base de celle de ses composants, déterminé au préalable. La fiabilité d'un composant peut se déterminer à partir d'essais spéciaux, ou d'observations accumulées sur de nombreux équipements en service.

Taux de défaillance en fonction du temps

On appelle "déverminage", l'élimination des défauts des composants et matériels chez le constructeur, durant cette première phase de leur vie.



Taux de défaillance

Le taux de défaillance λ représente le nombre de défaillances par composant et par unité de temps.

Si pendant le temps t , on constate k défaillances dans un ensemble de c composants, le taux de défaillances s'évalue comme suit :

$$\lambda = \frac{k}{tc}$$

On définit aussi un MTBF :

Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement

Mean Time Between Failures.

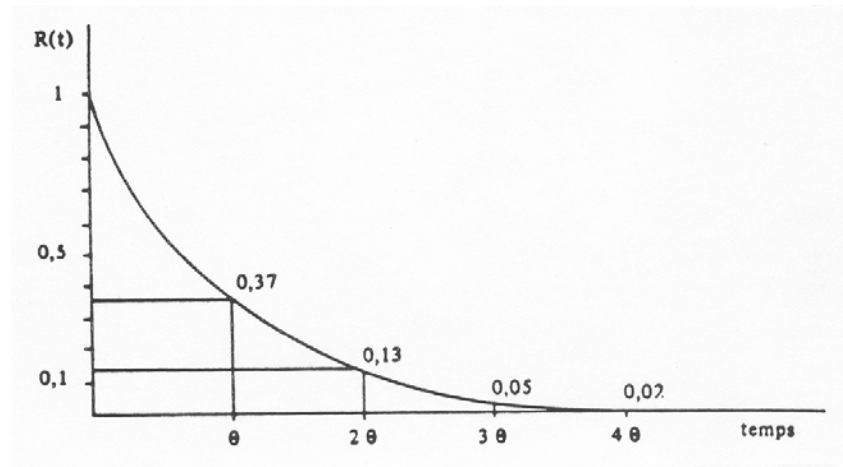
Il se définit comme le temps θ .

$$\theta = \frac{tc}{k} = \frac{1}{\lambda}$$

On recourt aux probabilités par le calcul statistique, pour chiffrer la confiance à accorder au résultat des essais.

Lorsque le taux de défaillance est constant, les défaillances apparaissent selon un modèle statistique simple : la distribution exponentielle. On peut démontrer que la probabilité de leur fonctionnement pendant un temps t s'exprime par :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$



En particulier, la probabilité de bon fonctionnement pendant un temps θ = MTBF est de :

$$R(\theta) = e^{-\lambda\theta} = \frac{1}{e} = 0,368$$

La probabilité de bon fonctionnement d'un équipement en période de vie utile peut être calculée à partir de celle de ses composants. Si les défaillances sont aléatoires et indépendantes les unes des autres, la condition nécessaire et suffisante pour qu'un équipement fonctionne à l'instant t, est que tous ses composants fonctionnent à cet instant t. Dans ce cas, on démontre que la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t est le produit des probabilités de fonctionnement des composants à ce même instant.

$$R_{\text{Équipement}} = R_{C1} \cdot R_{C2} \dots R_{Ck}$$
$$R_{\text{Équipement}} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k)t}$$

Le taux de défaillance de l'équipement est donc la somme des taux de défaillances de ses composants.

$$\lambda_E = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots \lambda_k$$

Si un sous-ensemble constitue un point faible d'un équipement ou d'un système, on peut le coupler en parallèle à un équipement identique qui peut lui être substitué, moyennant certaines précautions de connexion. Chaque élément fonctionne donc en permanence, dans ce cas (redondance active).

Pour la suite, on considère le fonctionnement permanent des 2 éléments (redondance active).

On peut calculer la probabilité de panne du système constitué par deux éléments en parallèle, si on connaît la fiabilité de chaque élément.

La probabilité de panne ($P(t) = 1 - R(t)$). Si les pannes des 2 éléments sont des événements indépendants, la probabilité de panne du système est donnée par :

$$P_s = P_1(t).P_2(t)$$

A taux de défaillance constant, on a :

$$1-R_s = (1-R_1)(1-R_2)$$

D'où

$$R_s = R_1 + R_2 - R_1 R_2$$

Ou encore :

$$R_s = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

Le MTBF de l'ensemble peut se calculer par

$$\theta_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$$

$$\theta_s = \int_0^{\infty} [e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}] dt$$

$$\theta_s = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

Si les éléments sont identiques avec le même θ , on a

$$\theta_s = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda}$$

ou

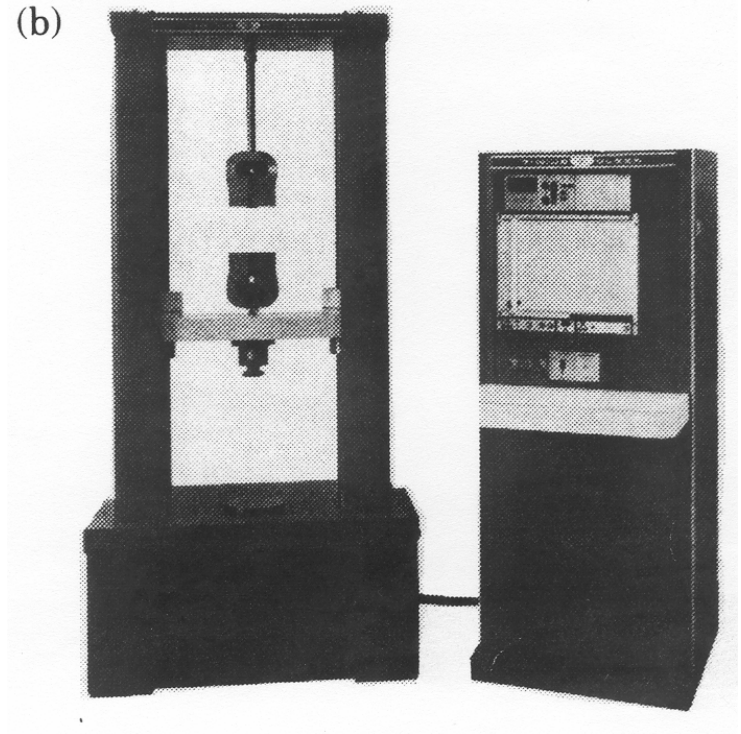
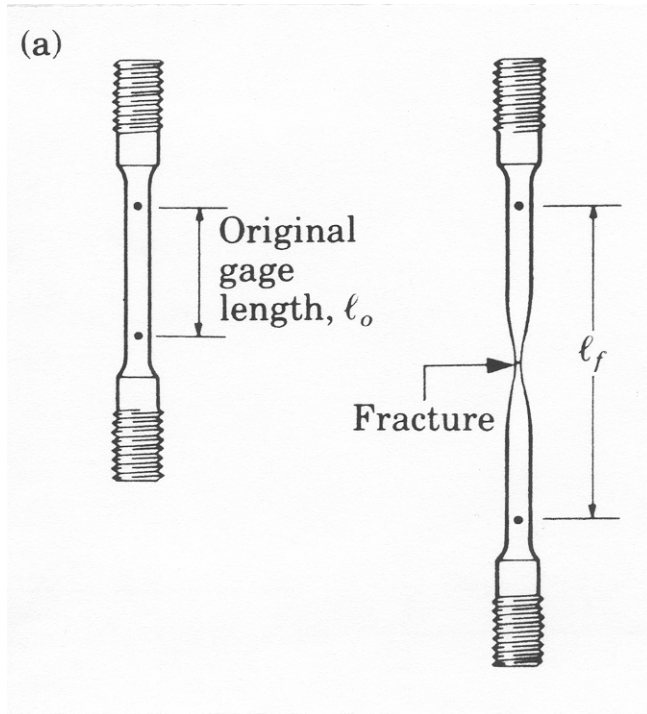
$$\theta_s = \frac{3}{2} \theta$$

Le MTBF de l'équipement redondant actif (dédoublé) vaut 1,5 fois le MTBF de l'équipement simple

CONTROLES DESTRUCTIFS

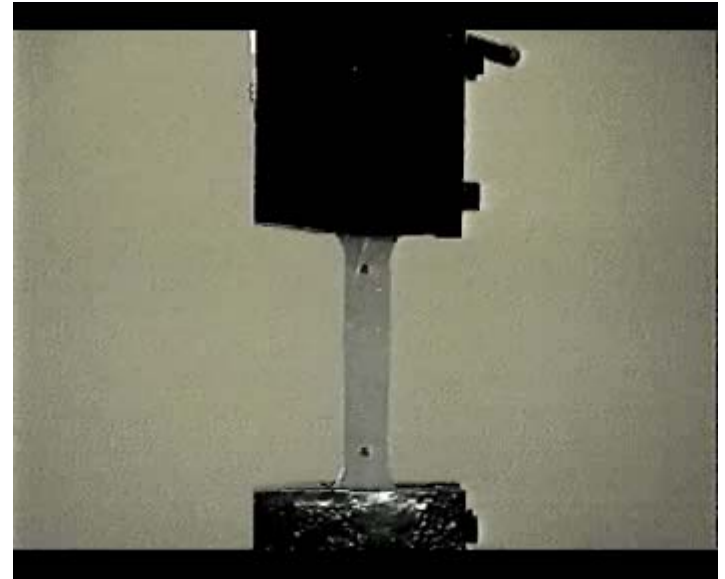
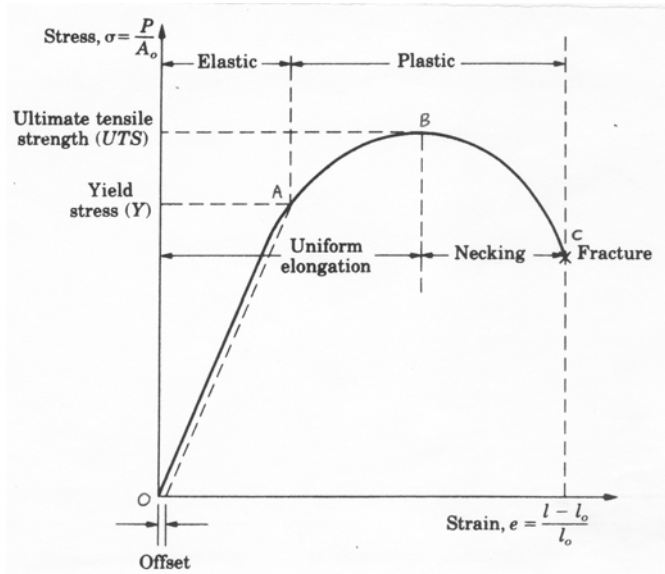
- **TRACTION**
- **COMPRESSION**
- **DURETE**
- **FATIGUE**
- **FLUAGE**
- **RESISTANCE AUX CHOCS OU RESILIENCE**

TRACTION



Normalisation : $l = 10d$

DIAGRAMME DE TRACTION



- l_0 : la longueur initiale de l'éprouvette
- l : la longueur finale de l'éprouvette
- Ω_0 (ou A_0) : la section de départ de l'éprouvette
- F (ou P) : la force appliquée à l'éprouvette
- F/Ω_0 : la contrainte du matériau (en N/mm^2)
- $\Delta L_0 = l - l_0$: l'allongement de l'éprouvette
- $\Delta L_0/L_0$: la déformation du matériau (en %)

DEFINITIONS

Limite élastique (R_e ou σ_e exprimé en N/mm^2) : contrainte F/Ω_0 mesurée en A.

Limite de résistance à la rupture (R_r ou σ_r exprimé en N/mm^2) : contrainte F/Ω_0 mesurée en B.

Allongement de rupture (ε_r exprimé en %) : déformation $\Delta L_0/L_0$ mesurée en C.

Coefficient de striction (S exprimé en %) : $S = (A_0 - A') / A_0$

où A' est la surface de la section au moment de la striction.

Module d'élasticité ou d'Young (E exprimé en N/mm^2) :

$$E = \tan \alpha = (F/\Omega_0) / (\Delta L_0/L_0) = \text{pente de la droite OA}$$

Aciers : $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$.

Aluminium et alliages : $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$.

Carbures de tungstène, de titane, ...

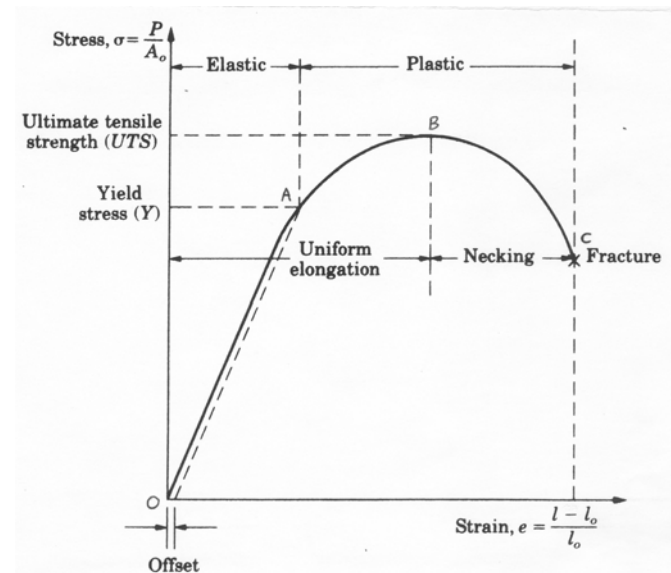
$$E = 450.000 \text{ à } 660.000 \text{ N/mm}^2.$$

Acier ordinaire :

$$R_r = 400 \text{ N/mm}^2$$

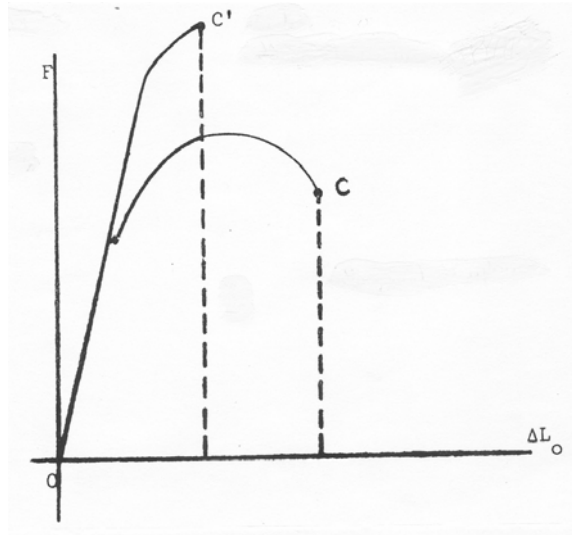
$$R_e = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_r = 40 \%$$

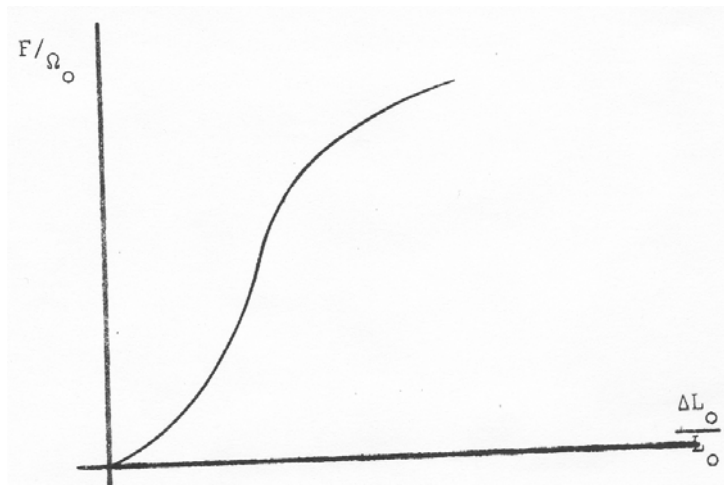


DIAGRAMMES SPECIFIQUES

Aciers



Fonte



DURETE

Mesure de l'aptitude de pénétration du corps considéré par un autre

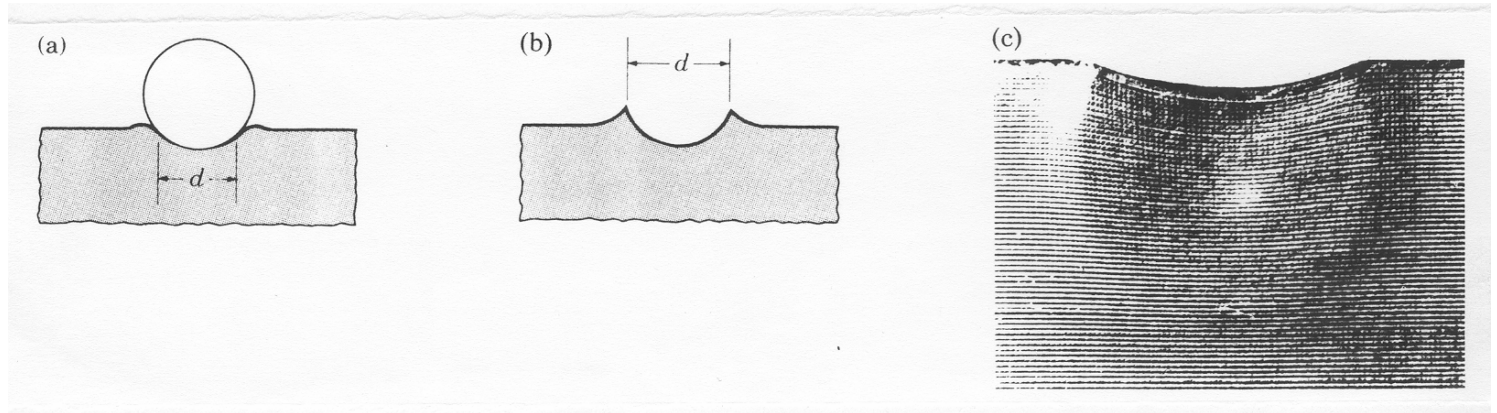
Echelle de Mohs

1.	Talc	1.	Talc
2.	Gypse	2.	Gypse
3.	Calcite	3.	Calcite
4.	Fluorite	4.	Fluorite
5.	Apatite	5.	Apatite
6.	Orthose	6.	Orthose
7.	Quartz	7.	Silice pure vitrifiée
8.	Topaze	8.	Quartz
9.	Corindon	9.	Topaze
10.	Diamant	10.	Grenat
		11.	Zirconium fondu
		12.	Alumine fondue
		13.	Carbure de Silicium
		14.	Carbure de Bore
		15.	Diamant

**Dureté = absence d'aptitude à se laisser pénétrer
par un corps dur**

Essai Brinell

$$\Delta_B = P/S \text{ (kg'/mm}^2\text{)}$$



Spécifications essai Brinell

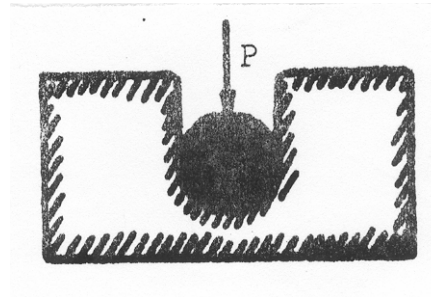
$$P = 5 D^2$$

$$P = 10 D^2$$

$$P = 30 D^2$$

(D valant 5 ou 10 mm)

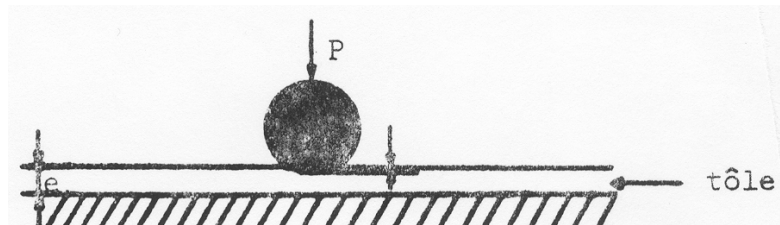
$$0,2 < d/D < 0,5$$



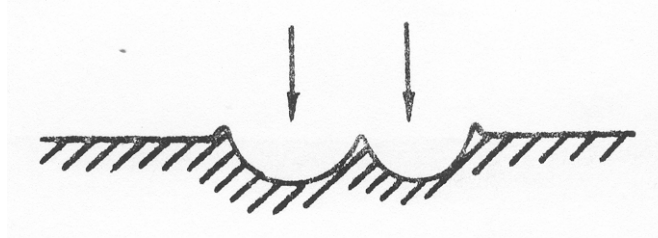
$$h/e < 0,1$$

h = distance de pénétration de la bille

e = épaisseur du matériel à tester

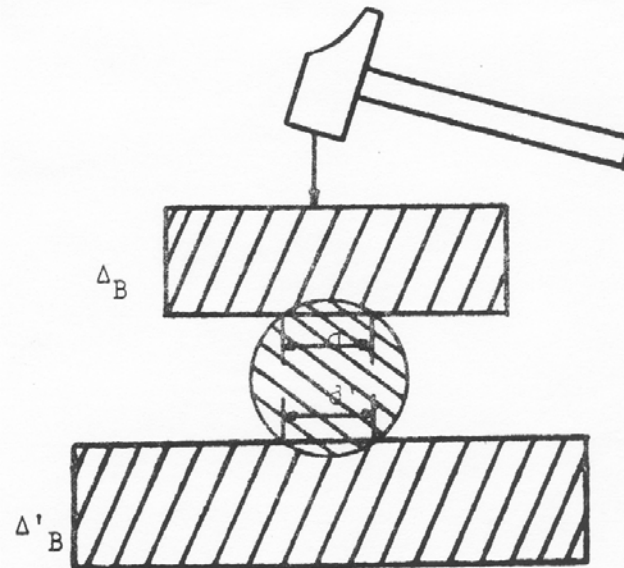


Distance entre essais = 3 à 5 d



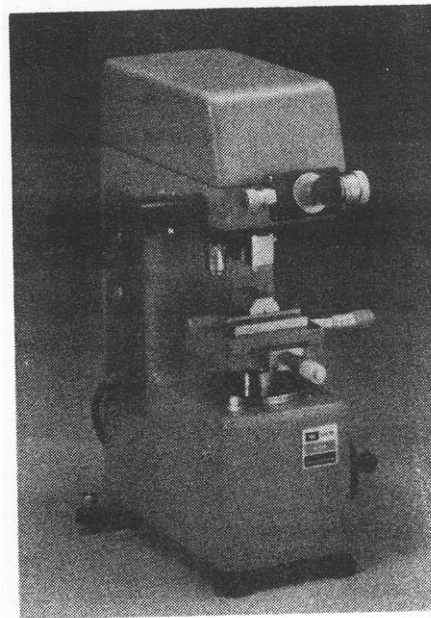
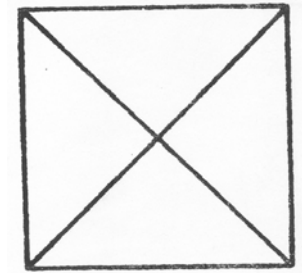
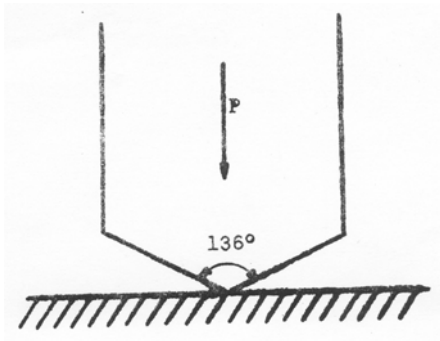
Durée de la mise en charge : environ 15 s

Test Brinell sur chantier

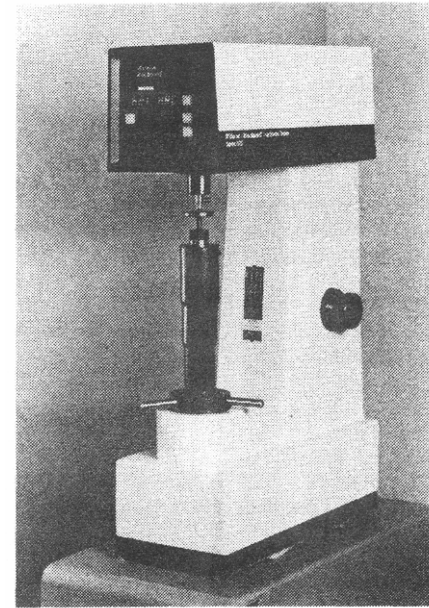
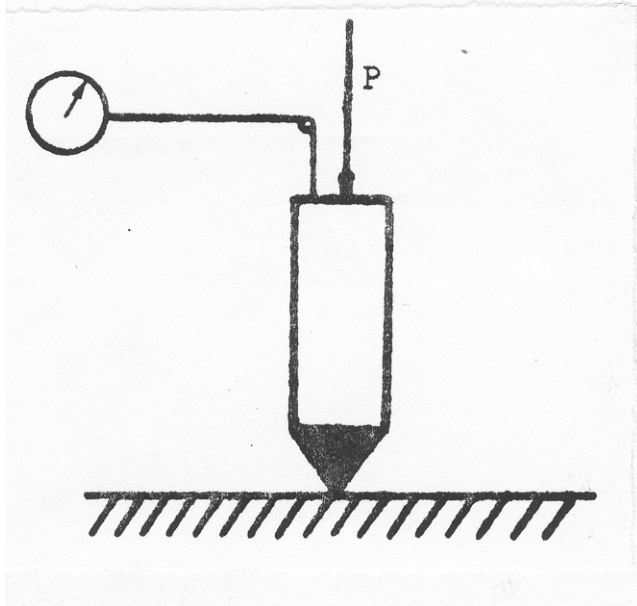


Méthode Vickers

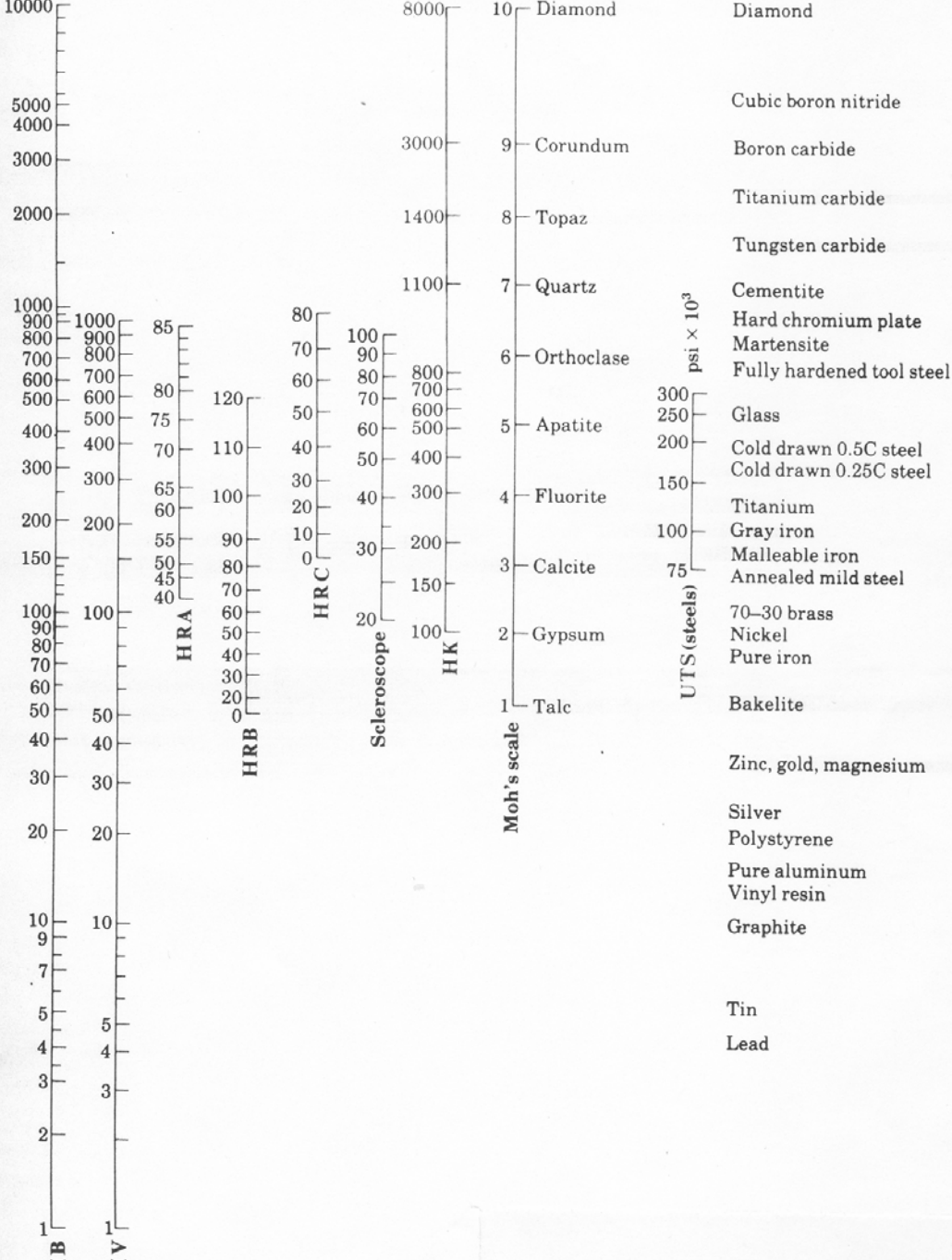
$$\Delta_V = P/S \text{ (en kg'/mm}^2\text{)}$$

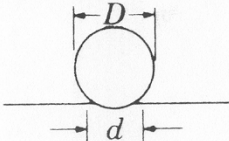
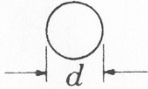
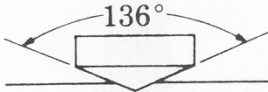
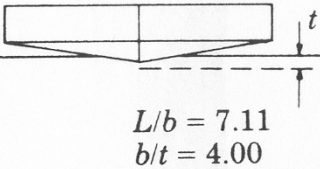
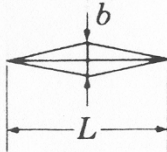
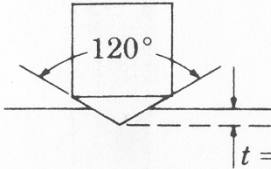
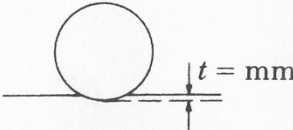


Procédé Rockwell



précharge : indicateur à zéro
charge de 150 kg : lecture



Test	Indenter	Shape of indentation		Load
		Side view	Top view	
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg
Vickers	Diamond pyramid			1-120 kg
Knoop	Diamond pyramid	 $L/b = 7.11$ $b/t = 4.00$		25 g-5 kg
Rockwell				kg Hardness number
A C D	Diamond cone	 $t = \text{mm}$		60 HRA
				150 HRC
				100 HRD
B F G	$\frac{1}{16}$ -in. diameter steel ball	 $t = \text{mm}$		100 HRB
				60 HRF
				150 HRG
E	$\frac{1}{8}$ -in. diameter steel ball			100 HRE

FATIGUE

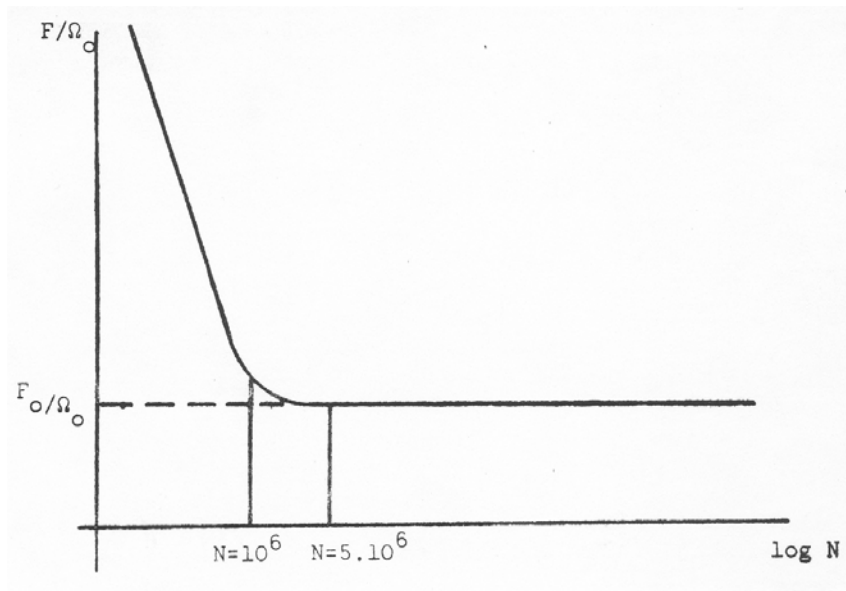
N = nombre de sollicitations nécessaires pour atteindre la rupture sous une charge donnée F .

F_o/Ω_o = limite de fatigue.

R_r = limite de rupture.

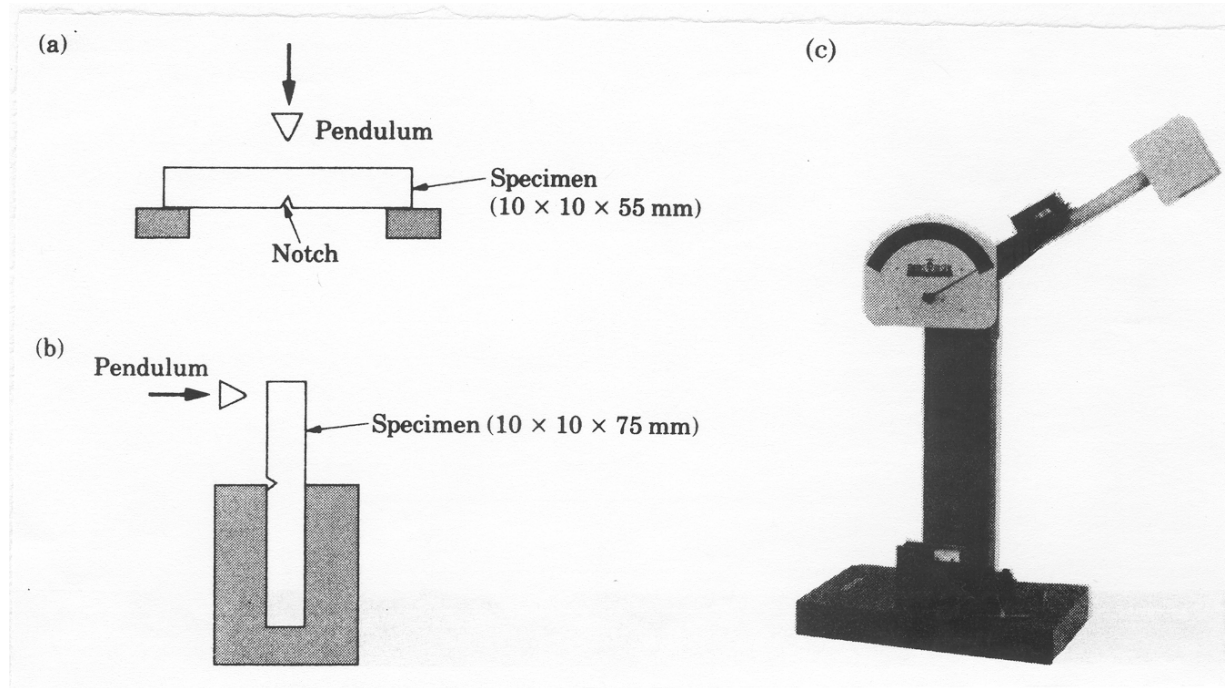
Diagramme de Wöhler.

$$F_o/\Omega_o \approx 0,4 R_r$$



RESISTANCE AUX CHOCS OU RESILIENCE

Choc = sollicitation à grande vitesse



$$R = T/S = (P (h_1 - h_2))/S$$

(S = section à l'amorce de rupture).

Facteurs influents :

- température
- impuretés

Contrôles non destructifs

On groupe, sous cette appellation, des contrôles et des mesures permettant de déceler des défauts, que l'on ne pourrait identifier par un simple examen, la pièce ne subissant pas d'altération. Ces contrôles se rencontrent :

- lors des opérations de réception des matières
- en cours d'élaboration des pièces
- sur des pièces finies

Nous parcourerons ci-après les contrôles les plus fréquemment faits :

- le contrôle par ressuage (*dye penetrating test*)
- les contrôles par ultra-sons
- les contrôles radiographiques
- les épreuves du types "magnétique"

D'autres essais et contrôles existent, tels que les mesures de distance par laser, par télémétrie, etc.

Le contrôle par ressuage

Ce type de contrôle permet de faire apparaître des défauts qui débouchent en surface de tous les métaux. On utilise une liqueur tensio-active colorée, ou contenant une substance fluorescente, que l'on applique sur la surface à contrôler; la liqueur peut être étendue au pinceau, au pistolet ou par trempage.

Après essuyage ou égouttage de la surface, les défauts formant de petites capacités de liquides apparaissent à l'oeil nu, par exemple sous un éclairage approprié (lumière blanche ou lumière ultra-violette).

On peut, par cette méthode, faire apparaître des fissures, débouchant en surface, d'une largeur de l'ordre de 0,01 mm.

Le contrôle par ultra-sons

Le faisceau d'ultra-sons est émis par un palpeur en contact avec la pièce à contrôle. Après réflexion sur un défaut en une paroi, le faisceau est reçu par un palpeur de réception (éventuellement le même que l'émetteur).

La lecture est faite sur un oscilloscope sur lequel on peut suivre, à l'écran, le parcours des ultra-sons dans la matière, lors de l'interprétation, il faudra distinguer les échos successifs pour ne retenir que ceux correspondant à des défauts.

La méthode peut être délicate dans l'examen de pièces de géométrie complexe. Par contre, dans le cas de la production de pièces de série, on peut procéder par mesures comparatives, après étalonnage.

Des défauts peuvent être localisés jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 300 mm.

Les contrôles radio-métallographiques

Les pièces à contrôler sont placées dans un champ électromagnétique, de rayonnement X, β ou γ selon l'installation.

Le matériau présente une certaine opacité aux rayonnements, à noter que les éléments à forte opacité (plomb, verres spéciaux,...) servent aussi à la protection des opérateurs.

Les lacunes dans le métal (inclusions, retassures, ...) diminuent l'épaisseur traversée par le rayonnement et, donc l'opacité locale dans la pièce, l'intensité du rayonnement recueilli après traversée de la pièce, va donc varier avec le nombre et l'étendue des défauts.

Les variations d'intensité recueillies sont enregistrées sur un film photographique disposé sur la face où sort le rayonnement. A noter que l'emploi d'indicateurs de qualité d'image, superposés à la pièce radiographiée, permet de quantifier le pouvoir global de détection des défauts.

Des défauts situés à plus de 200 mm d'épaisseur peuvent être décelés, tant pour des métaux ferreux que non-ferreux.

Contrôles par voie magnétique

Ces contrôles sont applicables aux matériaux ferromagnétiques. Les pièces y sont soumises à l'action d'un champ magnétique défini de façon à créer des fuites magnétiques intenses au niveau des défauts.

La détection des fuites magnétiques peut être faite :

- par une liqueur magnétique appliquée sur la surface à contrôler
- par une poudre magnétique déposée sur la surface

Le champ magnétique est créé soit par un électro-aimant, soit par la circulation d'un courant électrique alternatif dans la pièce à examiner.

La méthode s'applique bien au décel des défauts de surface, avec une sensibilité maximum quand la dimension principale du défaut est perpendiculaire à la surface à examiner et aux lignes de champ. A noter que les défauts à plus de 10 mm de profondeur sont difficilement décelables.